

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kompresor

2.1.1 Dasar Pengertian Kompresor

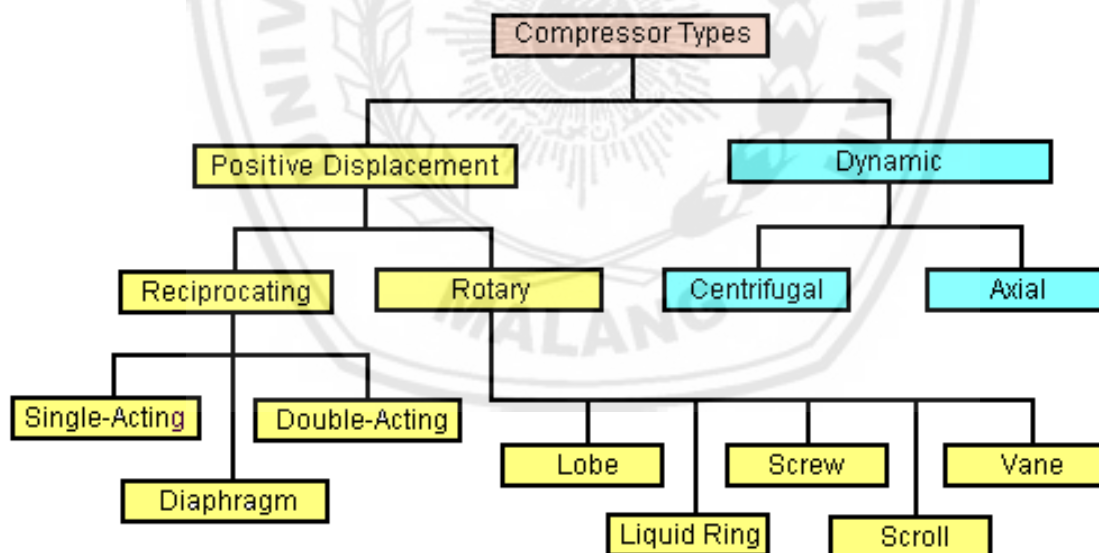
Kompresor adalah peralatan yang digunakan untuk menaikkan tekanan dari fluida yang kompresibel (dapat dimampatkan) seperti udara dan gas. Kenaikan tekanan udara/gas yang dihasilkan kompresor disebabkan adanya proses pemampatan yang dapat berlangsung secara *intermittent* (berselang) dan kontinyu. Kompresor dapat beroperasi dengan tekanan masuk dibawah atmosfer (vakum) sampai dengan tekanan tinggi (positif) diatas atmosfer, sedangkan tekanan keluar memiliki tingkatan dari tekanan atmosfer sampai dengan tekanan tinggi.

Kompresor secara umum digunakan untuk keperluan proses, transportasi dan distribusi udara pada industri petrokimia, produksi dan pengolahan migas. Khususnya pada industri migas hasil kompresor dapat berupa:

- a. Udara bertekanan tinggi dimanfaatkan untuk:
 - Penggerak instrumentasi, Penggerak *power tool*, Keperluan pembuatan gas *inflammable*
- b. Gas bertekanan yang dimanfaatkan untuk:
 - Injeksi sumur minyak, Keperluan pembuatan LNG, LPG dan CNG

2.1.2 Klasifikasi

Berdasarkan cara pemampatan terhadap fluida kerja (udara/gas) kompresor dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok yaitu pemampatan dan aliran *intermittent* (berselang) dan kontinyu. Pemampatan dan aliran *intermittent* adalah pemampatan dan aliran terhadap gas/udara yang masuk sampai keluar kompresor dilakukan berselang secara periodik. Sedangkan pemampatan dan aliran kontinyu adalah pemampatan dan aliran terhadap udara/gas yang masuk sampai keluar kompresor dilakukan secara terus menerus. Kompresor yang menggunakan cara pemampatan dan aliran kontinyu ada dua yaitu *dynamic* dan *positive displacement*.



Gambar 2.1 Tipe Kompresor

2.1.3 Positive Displacement Compressor

Berdasarkan bentuk dan gerakan elemen mekanik yang memampatkan udara/gas, terdapat dua kelompok:

A. Reciprocating Compressor

Kompresor yang elemen mekaniknya memampatkan udara/gas dengan cara bergerak translasi/bolak-balik dan disebut sebagai piston (torak), yang termasuk dalam kelompok ini adalah *piston compressor*

Reciprocating compressor dapat diklasifikasikan berdasarkan:

1. Unit penggerak

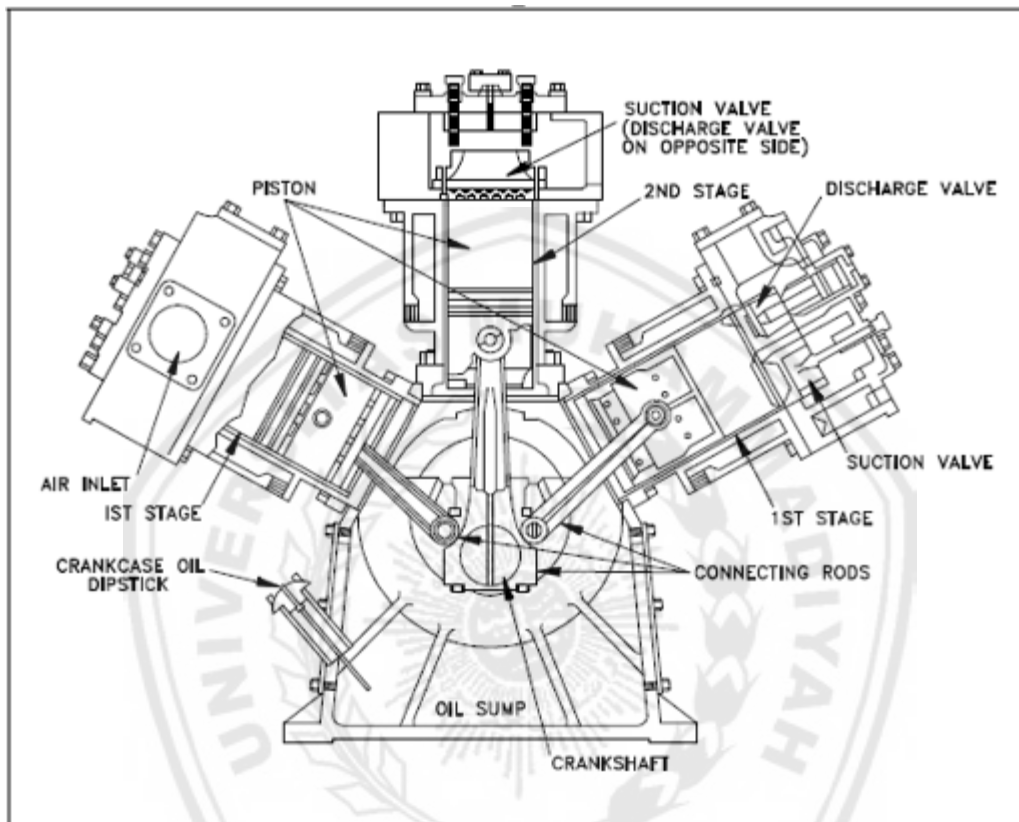
Berdasarkan unit penggerak dapat dibagi menjadi:

- *Direct connected steam drive* (menggunakan penggerak dari mesin uap)
- *Electro motor drive* (menggunakan unit penggerak dari motor listrik)
- *Engine drive* (menggunakan penggerak dari motor bakar)
- *Turbine drive* (menggunakan penggerak dari turbin)

2. Konstruksi

Konstruksi yang dimaksud adalah:

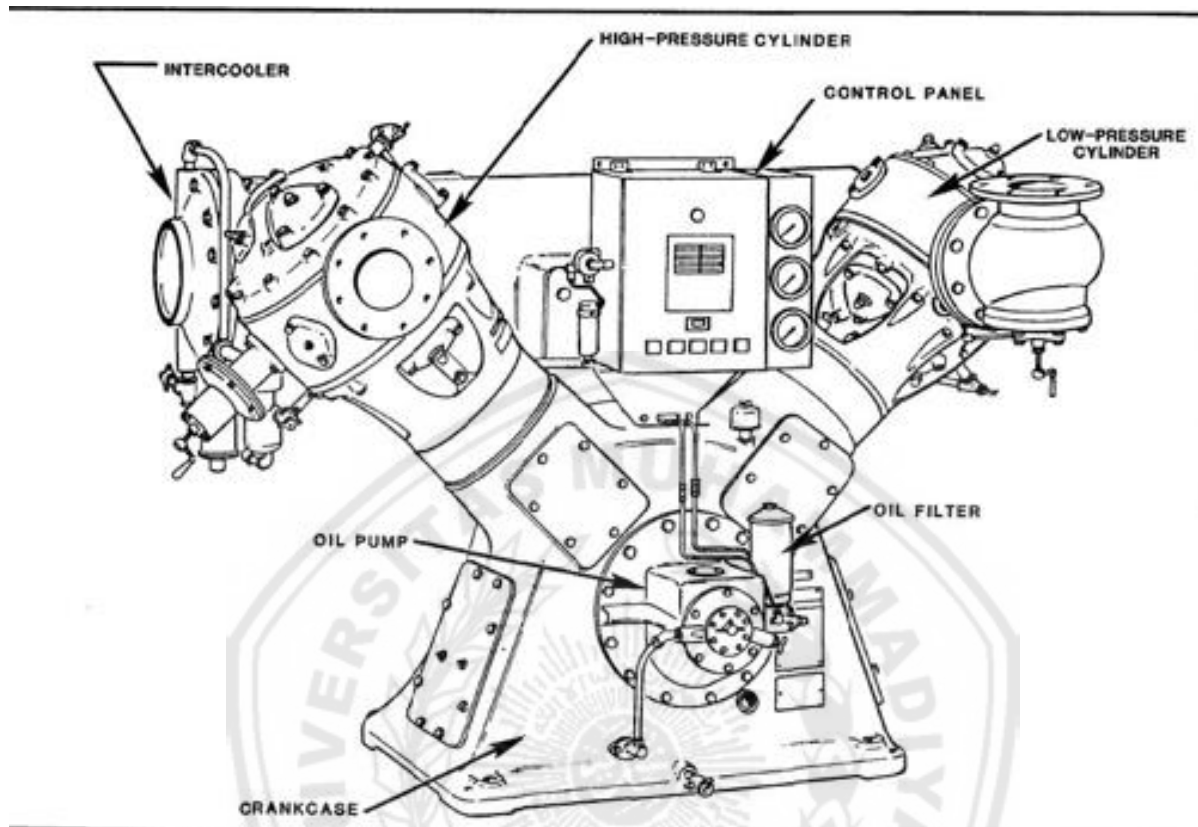
- Jumlah silinder: simplex, duplex, triplex dan seterusnya



Gambar 2.2 Tipe triplex silinder

- Tingkat/stage: satu tingkat (*single stage*) dan tingkat banyak (*multi stage*)
- Pendinginan: pendinginan udara (*air cooled*), pendinginan air (*water cooled*) dan kombinasi keduanya

- Kedudukan/posisi silinder: vertikal, horisontal, v-type



Gambar 2.3 Kompresor udara Dua silinder tipe-V

3. Cara kerja

Ditinjau dari cara kerja, *reciprocating compressor* dibagi menjadi 2 jenis:

- *Single acting*

Sebuah silinder tunggal-acting dalam mesin reciprocating adalah silinder di mana fluida kerja bekerja pada salah satu sisi piston saja.

- *Double acting*

Sebuah silinder kerja ganda adalah silinder di mana fluida kerja bertindak secara bergantian pada kedua sisi piston. Untuk menghubungkan piston dalam silinder double-acting pada mekanisme penggerak eksternal, seperti poros

engkol, lubang harus disediakan dalam salah satu ujung silinder untuk batang piston dan ini dilengkapi dengan *gland* atau *stuffing box* untuk mencegah bocornya fluida kerja.

B. Rotary Compressor

Kompresor yang elemen mekaniknya memampatkan udara/gas dengan cara bergerak berputar. Yang termasuk dalam kelompok ini: Lobe, Screw, Vane, Liquid ring, dan Scroll.

Rotary Screw Compressor menggunakan rotor yang berbentuk dua buah *helical screws* untuk mengkompresikan udara. Udara masuk dari sisi hisap (*suction side*) dan mengalir melalui ulir seiring dengan perputaran rotor *male* dan *female*. Ruangan presisi yang diciptakan antara rotor mengkompresi udara sehingga udara dapat mengalir pada kompresor dan keluar pada sisi buang (*exhaust side*). Jenis *Rotary Screw Air Compressor* banyak dipilih karena keuntungannya yaitu menghasilkan udara bertekanan tinggi dalam volume yang besar dan tidak berpotensi menimbulkan *pulsation or surging of flow* dibandingkan dengan jenis *Piston Air Compressor*.

Rotary screw compressor beroperasi pada kecepatan rotasi tinggi. *Rotary screw compressor* diproduksi dalam ukuran yang berkisar dari 10 kaki kubik per menit untuk CFM beberapa ribu. *Rotary screw compressor* biasanya digunakan dalam aplikasi yang memerlukan aliran udara lebih dari yang dihasilkan oleh kompresor reciprocating kecil tetapi kurang dari yang dihasilkan oleh kompresor sentrifugal.



Gambar 2.4 Bagian-bagian *Screw compressor*

Rotary Screw Compressor dibedakan menjadi dua yaitu *oil free* dan *oil injected*.

a. *Oil free rotary compressor*

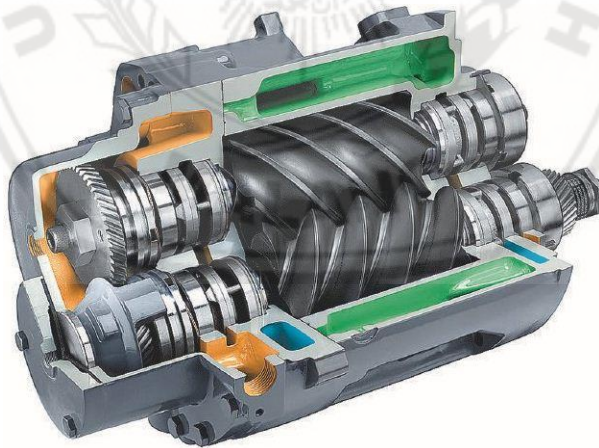
Cara kerja kompresor ini sama dengan kompresor tipe *oil injected* bedanya hanyalah kompresor ini benar-benar bebas dari minyak pelumas. Hal ini dimungkinkan karena ruang kompresi antara rotor yang sangat kecil sehingga menghasilkan udara bertekanan namun tidak menyebabkan keausan pada rotor karena masih ada celah diantara rotor. Karena tidak ada minyak pelumas yang diinjeksikan selama kompresi, kompresi biasanya dilakukan dalam dua tahap. Tujuannya adalah agar udara yang dihasilkan tidak terlalu panas karena kompresi yang terlalu tinggi

Pada tahap pertama kompresi, udara biasanya mempunyai tekanan separuh dari tekanan akhir yang dihasilkan. Udara ini akan didinginkan melalui *intercooler* sebelum menuju ke tahap kedua. Tahap kedua akan memampatkan udara lebih lanjut untuk menghasilkan tekanan udara akhir yang diinginkan

Keuntungan dari *Oil free rotary compressor* ini adalah 100% udara bebas minyak, sedangkan kekurangannya adalah unitnya akan lebih mahal dari jenis *Oil injected rotary compressor*. Selain itu perawatannya akan lebih sulit dan lebih mahal.



Gambar 2.5 Air compressor package



Gambar 2.6 Gambar potongan kompresor udara tipe *Oil free*

b. *Oil injected rotary compressor*

Adalah *screw compressor* yang menggunakan prinsip minyak pelumas yang diinjeksikan secara langsung ke ruang kompresi rotor dan juga *bearing*.

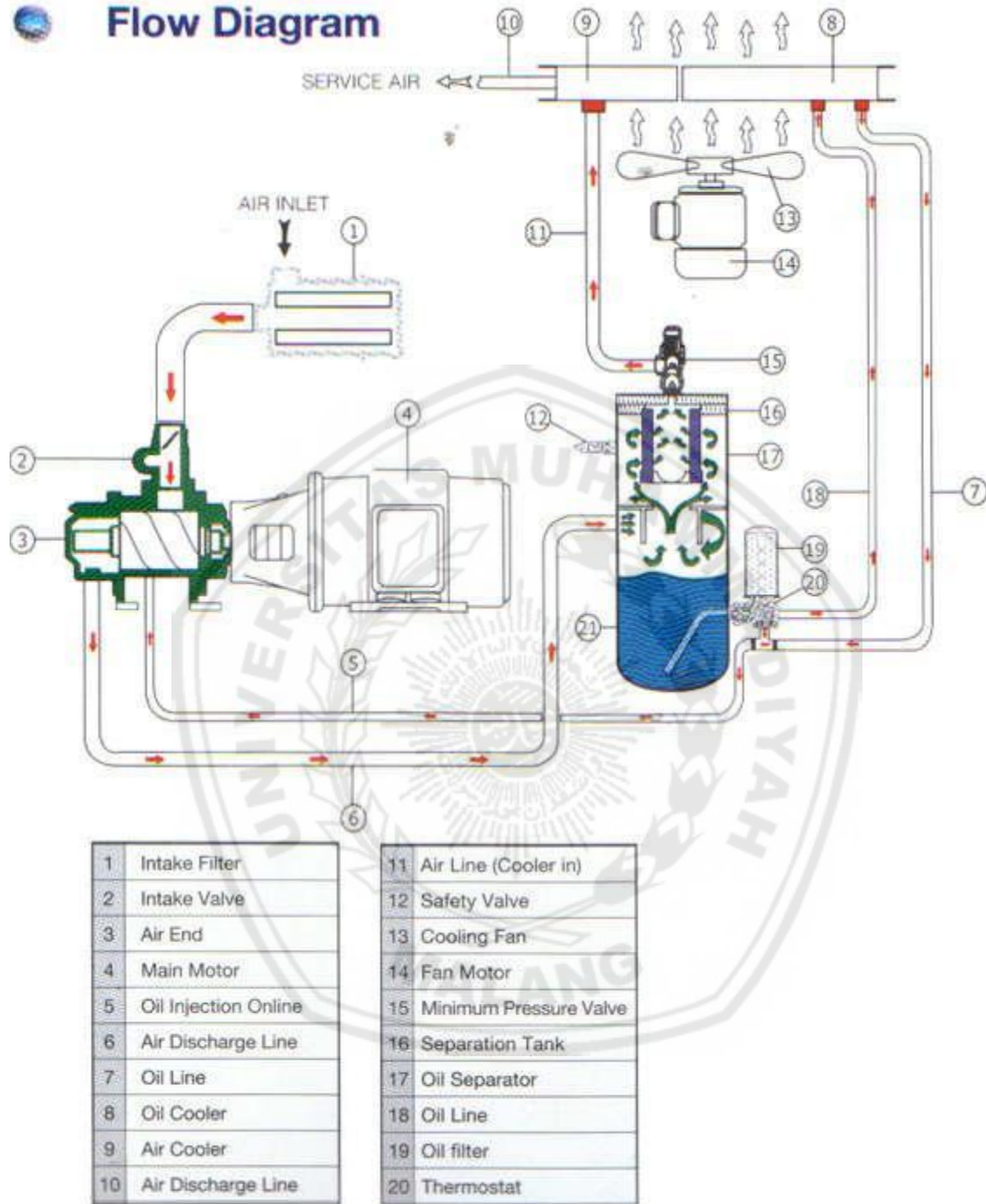
Fungsinya adalah untuk mendinginkan dan melumasi komponen kompresor dan mengurangi gesekan antar komponen. Udara bertekanan yang bercampur dengan minyak pelumas menuju *oil/air separator* untuk memisahkan udara dengan minyak pelumas agar udara bertekanan tersebut bisa digunakan.

Setelah minyak pelumas diinjeksikan ke rotor, kemudian didinginkan, disaring di *oil filter* dan dimasukkan kembali ke dalam sistem untuk kemudian dipakai kembali. Minyak pelumas tersebut berfungsi untuk menangkap partikel kecil/debu dari udara yang masuk, lalu menuju *oil filter* untuk disaring agar minyak pelumas bisa bersih dan dipakai kembali setelah menuju *fan cooler* untuk diturunkan temperaturnya.

Sistem sirkulasi minyak pelumas terdiri dari jalur pelumasan kompresor, pendingin minyak pelumas, filter minyak pelumas, dan pompa minyak pelumas. Pompa minyak pelumas biasanya berkonfigurasi single atau dobel. Desain kompresor yang menggunakan pompa minyak pelumas biasanya diperlukan saat pertama kali *startup*. Dalam keadaan setelah kompresor berjalan normal, minyak pelumas akan tersirkulasi kedalam sistem secara mandiri akibat adanya perbedaan tekanan antara sisi isap dan buang.



Flow Diagram



Gambar 2.7 Contoh diagram aliran udara & oli pada kompresor udara tipe *Oil flooded*

2.2 Minyak Pelumas pada Kompresor

Minyak pelumas merupakan salah satu komponen yang sangat penting pada *rotary screw compressor*. Memahami karakteristik tipe pelumas akan membantu menentukan pemakaian yang tepat dan memperpanjang usia pakai kompresor.

Beberapa tipe pelumas pada kompresor, faktor-faktor yang mempengaruhi efektifitas pemakaian minyak pelumas dan metode *sampling* minyak pelumas akan dibahas dibawah ini.

2.2.1 Tipe Minyak Pelumas

Menurut bahan dasar pembuatnya, minyak pelumas digolongkan menjadi dua jenis, yaitu: *Mineral oil & Syntethic oil*

- *Mineral oil*

Mineral Oil merupakan minyak pelumas dengan basis base oil tanpa adanya zat aditif tambahan

- *Syntethic oil*

Syntethic oil adalah pelumas dengan bahan dasar base oil dan tambahan zat-zat aditif untuk memperbaiki sifat-sifat dari minyak pelumas tersebut. Zat aditif ini bermacam-macam jenisnya, misal untuk meningkatkan viskositas minyak pelumas, menambah kandungan deterjen, meningkatkan harga TBN dan sebagainya.

Terdapat 7 tipe mendasar minyak pelumas yang digunakan pada kompresor saat ini. Setiap tipe memiliki keuntungan dan kelemahan sendiri untuk setiap pemakaian tertentu.

Tipe-tipe pelumas tersebut adalah:

1. *Mineral oil*
2. *Synthetic Hydrocarbons*

Untuk pemakaian pada kompresor, *polyalphaolefin* (PAO) paling umum digunakan karena diproses secara khusus untuk memiliki karakteristik memisahkan air dengan baik, stabil secara kimiawi, dan memiliki kadar racun rendah

3. Organik Ester

Dua jenis minyak pelumas utama dari jenis ini yang dipakai pada kompresor adalah *dibasic acid & polyol*. Minyak pelumas *dibasic acid* lebih dikenal dengan diester pada tahun 1970 sampai 1980an, memiliki viskositas yang stabil pada range temperatur yang luas, lapisan *film* yang kuat, *metal wetting characteristics*, dan titik uap jenuhnya rendah pada temperatur tinggi.

Polyol memiliki karakteristik yang sama dengan diester namun mampu lebih stabil pada temperatur dan kadar oksigen yang lebih tinggi. Penggunaan utamanya adalah untuk turbin, namun bisa juga diaplikasikan pada beberapa kompresor

4. Fosfat Ester

Phosphate esters memiliki karakteristik tahan api, namun indeks viskositasnya rendah, ketahanan yang buruk pada panas dan kelembaban, dan menjadi korosif saat kualitasnya menurun akibat pemakaian. Oleh sebab itu usia servisnya pendek dan perlu sering diganti.

5. Poliglikol

Minyak pelumas jenis ini dikembangkan khusus untuk mengurangi *varnish deposit* yang dihasilkan

6. Silikon

Memiliki ketahanan terhadap panas, oksidasi dan penguapan yang sangat baik. Bersifat *chemically inert* sehingga bisa diaplikasikan pada lingkungan dimana terdapat paparan oksidasi.

7. Semi sintetis

Memiliki sifat campuran antara mineral oil yang sudah diberi tambahan zat aditif sehingga keunggulan kedua jenis minyak pelumas didapatkan dan lebih ekonomis.

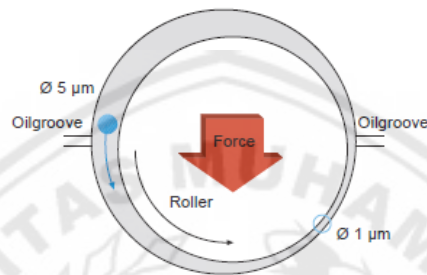
2.2.2 Kontaminasi Minyak Pelumas

Peralatan apapun yang menggunakan minyak pelumas akan dipengaruhi oleh keadaan minyak pelumas. Salah satu hal yang dapat mempengaruhi keadaan minyak pelumas adalah kontaminan. Cara terbaik untuk mengontrol kontaminan adalah menghentikan kontaminan tersebut sebelum memasuki sistem pelumasan pada peralatan yang digunakan. Caranya adalah memastikan bahwa komponen peralatan benar-benar bersih saat dipasang dan sistem benar-benar sudah di-*flushing* sebelum dioperasikan. Memastikan sil terpasang dengan benar juga mengurangi potensi masuknya partikel yang bisa menjadi kontaminan. Minyak pelumas yang digunakan juga harus di-*filter* terlebih dahulu sebelum kontak dengan komponen berputar.

Beberapa kontaminasi yang dapat mempengaruhi kondisi minyak pelumas:

A. Partikel

Partikel padat berkontribusi terhadap mayoritas kerusakan yang terjadi pada sistem pelumasan. Yang paling berbahaya adalah ukuran partikel yang sama atau lebih besar dari ukuran toleransi dinamis antara komponen bergerak yang kontak



Gambar 2.8 Ilustrasi kontaminasi partikel pada *roller*

Dynamic oil film	
Component	Oil film thickness in micron (μm)
Journal, slide and sleeve bearings	0.5-100
Hydraulic cylinders	5-50
Engines, ring/cylinder	0.3-7
Servo and proportional valves	1-3
Gear pumps	0.5-5
Piston pumps	0.5-5
Rolling element bearings / ball bearings	0.1-3
Gears	0.1-1
Dynamic seals	0.05-0.5

Gambar 2.9 Perbandingan toleransi terkecil yang ada pada beberapa komponen

Saat partikel kecil yang abrasif seperti debu dan pasir masuk ke sistem pelumas, mereka akan terikut bersama minyak pelumas mengalir ke elemen kritikal pada peralatan dan dapat menyebabkan retakan kecil. Hal ini bisa memicu kerusakan yang lebih parah apabila dibiarkan mengendap lebih lama.

B. Air

Air memiliki peran besar dalam kerusakan komponen. Air mempengaruhi sifat minyak pelumas karena mengurangi viskositas/kekentalan minyak pelumas dan mempengaruhi kemampuan menahan beban dari minyak pelumas. Apabila terdapat air pada elemen yang menanggung beban berat seperti *bearing* dan *gear*, butiran air pecah dan menghasilkan butiran air yang berukuran lebih kecil yang menyebabkan *pitting* pada permukaan metal dan bahkan bisa menyebabkan kontak *metal-to-metal*. Air bersifat sebagai katalis pada degradasi minyak pelumas, mempercepat kecenderungan minyak pelumas beroksidasi dan membentuk resin, *sludge*, dan *varnish*.

C. Degradasi minyak pelumas

Degradasi minyak pelumas terlihat dari awal terbentuknya endapan yang disebut *varnish*. Saat minyak pelumas mengalami degradasi yang disebabkan kenaikan temperatur, air, atau kontaminasi bahan kimia contohnya tembaga; maka komposisi dan sifat dari minyak pelumas tersebut berubah yang mengakibatkan beberapa hal seperti TAN dalam minyak pelumas, endapan (*sludge*) atau resin dan *varnish*. *Varnish* menghasilkan lapisan lengket yang terbentuk pada permukaan metal sehingga menutup permukaan. Partikel padat yang keras akan menempel di

sepanjang permukaan ini dan menghasilkan permukaan kasar seperti amplas sehingga mempercepat keausan antara dua komponen yang bergesekan.

Efek lain dari *varnish* adalah pelumasan yang buruk, mengurangi efektifitas pendinginan dari minyak pelumas dan menutup saluran minyak pelumas atau filter

D. Kontaminasi zat asam

(Zat) Asam bisa ditemukan sebagai hasil dari degradasi minyak pelumas, hasil pembakaran bahan bakar gas atau cair, pemisahan air (*hydrolysis*) dari fluida berbahan dasar *Ester* dan lainnya. Nilai keasaman dalam minyak pelumas harus dibatasi karena sifatnya yang menyebabkan korosi dan memperpendek usia pemakaian minyak pelumas.

Nilai keasaman atau biasa disebut TAN (*Total Acid Number*) bisa dinetralkan atau dihilangkan dari minyak pelumas dengan banyak cara. Minyak pelumas yang memiliki nilai TAN terlalu tinggi harus segera diganti.

2.2.3 Metode *Sampling* Minyak Pelumas

Tujuan dari *sampling* minyak pelumas adalah memanfaatkan minyak pelumas untuk memberi informasi tentang peralatan/mesin yang sedang beroperasi. Kegiatan ini dapat membantu pemilik peralatan/mesin maupun teknisi menyusun tindakan proaktif untuk mencegah peralatan/mesin mengalami kerusakan sebelum waktunya sehingga performa dan ketahanan puncak dari peralatan dapat tercapai pada biaya serendah mungkin. Sampel awal/pertama kali yang diambil berfungsi sebagai patokan standar. Pengambilan sampel secara rutin bertujuan untuk mendokumentasikan dan memastikan

tujuan perawatan tercapai, dan juga berfungsi untuk mengetahui indikasi awal terjadinya keausan yang memerlukan perhatian dan tindakan.

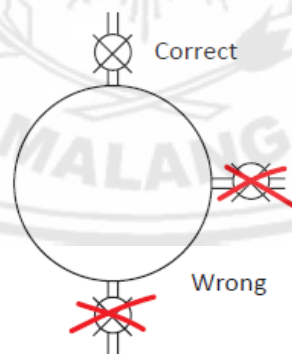
Kualitas dari hasil analisa/pembacaan tergantung dari:

1. Metode pengambilan sampel minyak pelumas dan penanganan sampel sampai dibawa ke tempat pengujian/laboratorium
2. Kualitas dari laboratorium yang melakukan pengujian

Pengetahuan tentang dimana dan bagaimana melakukan pengambilan sampel minyak pelumas yang tepat sangatlah penting dan memerlukan perhatian khusus.

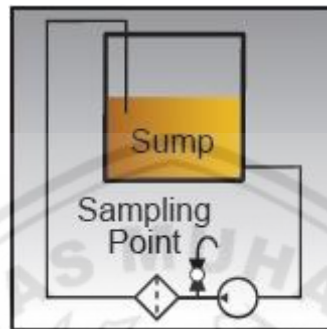
Metode pengambilan sampel minyak pelumas menurut “*Clean Oil Guide 2016 C.C JENSEN A.S Svendborg, Denmark*” secara umum dapat dilakukan dengan 3 cara:

1. Apabila titik pengambilan sampel pada pipa, maka penempatan katup drain sampel harus berada di atas, agar sampel yang diambil mewakili secara keseluruhan



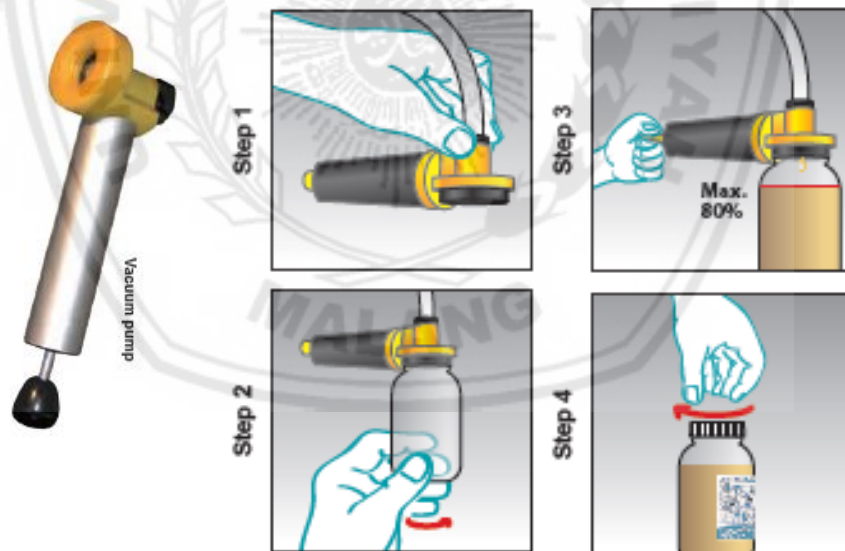
Gambar 2.10 Titik pengambilan sampel minyak pelumas pada pipa

2. Jika titik pengambilan sampel berada di samping *oil tank*, maka tinggi dari titik sampling minimal 10 cm / 4 inch dari dasar *tank*. Bertujuan untuk menghindari sedimen/endapan atau air yang berat jenisnya tinggi dan tidak tersirkulasi dalam sistem.



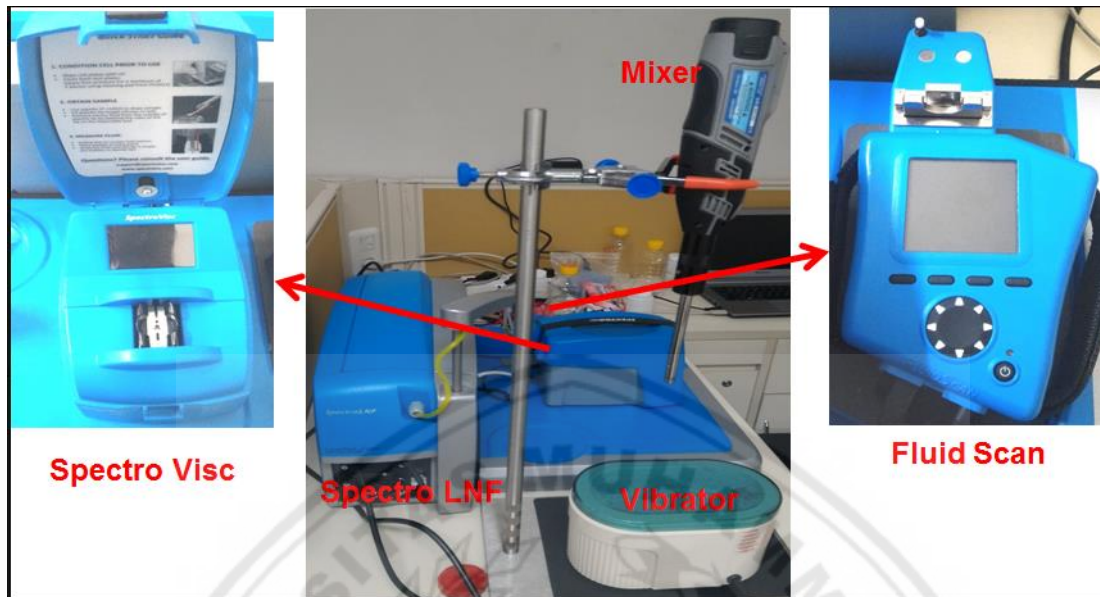
Gambar 2.11 Titik pengambilan sampel minyak pelumas pada *oil tank*

3. Pengambilan sampel juga bisa menggunakan pompa vakum manual.



Gambar 2.12 Langkah pengambilan sampel minyak pelumas menggunakan pompa vakum

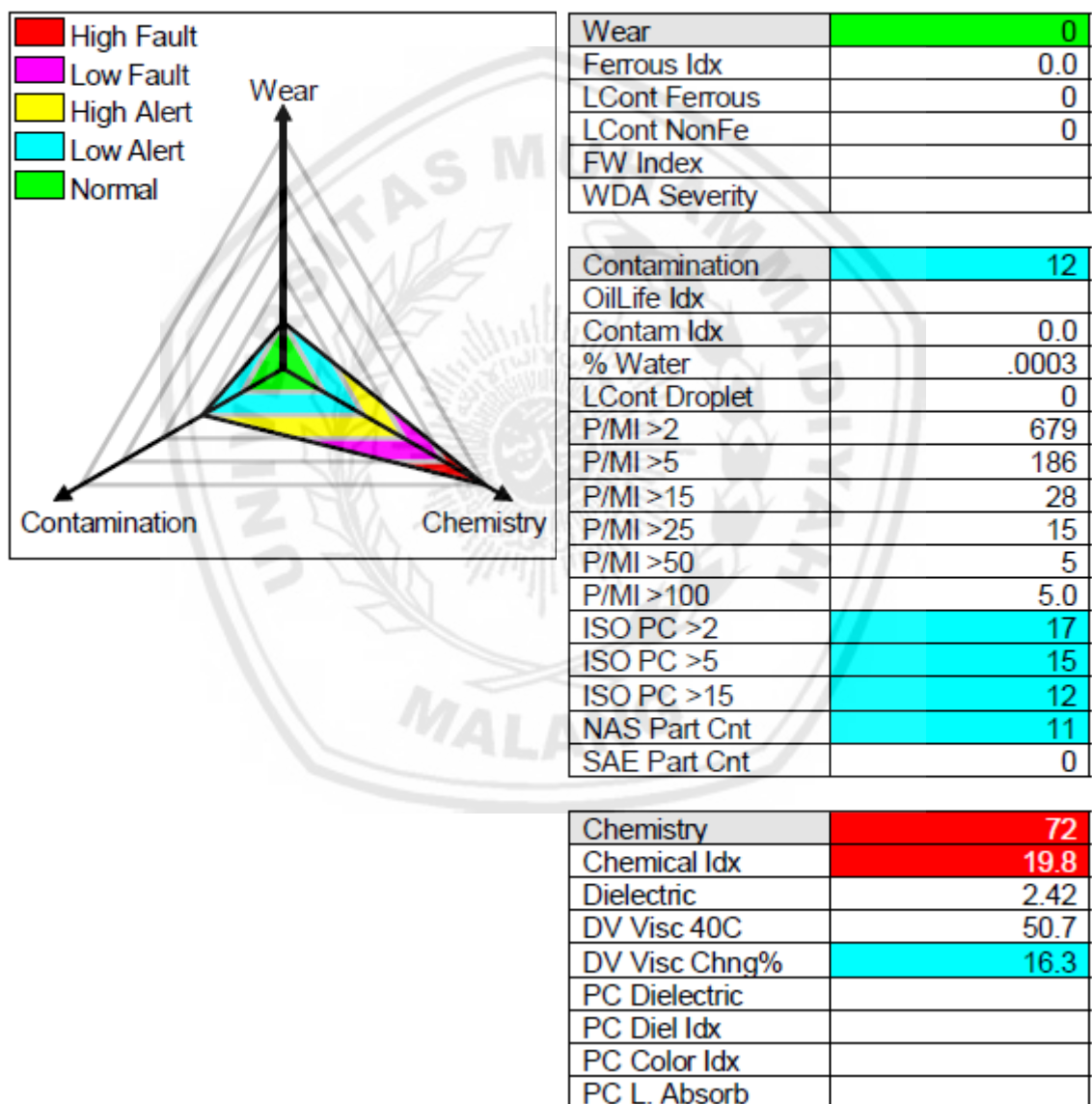
Peralatan yang digunakan untuk pengujian minyak pelumas diantaranya adalah:



Gambar 2.13 Set Oil Analyzer Tribology

1. *Spectro Viscosity* adalah peralatan yang digunakan untuk mengetahui viskositas dari minyak pelumas yang dianalisa dengan temperatur yang digunakan dalam pembacaan yaitu 40 °C dan 100 °C.
2. *Fluid Scan* digunakan untuk mengetahui *Oxidation Number*, *Total Acid Number (TAN)*, dan *Free Water*.
3. *Spectro LNF*, *Vibrator* dan *Mixer* sebagai komponen utama dalam analisa minyak pelumas digunakan untuk mengetahui kontaminan, yang disajikan dalam bentuk data dan gambar yang biasa disebut dengan *Trivektor*.

Trivektor (*Wear* → gram metal pengotor atau partikel keausan seperti *ferrous* dan logam mineral; *Contamination* → *water content*, kondisi minyak pelumas (*appearance & color*); dan *Chemistry* → TAN/TBN, *oxidation*, *viscosity*) menampilkan informasi utama tentang kandungan minyak pelumas yang dianalisa. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.14 *Trivektor*